2M

УДК 681.323

*И.Н. Молчанов*[1], *В.И. Мова*[2], *В.А. Стрюченко*[2]
[1]Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, г. Киев
[2]Государственное научно-производственное предприятие «Электронмаш»
Министерства промышленной политики Украины, г. Киев
molchan@d150.icyb.kiev.ua, mvi@elmash.kiev.ua, poisk@elmash.kiev.ua

# Интеллектуальная рабочая станция ИНПАРКОМ – средство автоматического исследования и создания программ параллельных вычислений научно-технических задач

Изложены результаты создания семейства интеллектуальных параллельных компьютеров ИНПАРКОМ, которые являются средством автоматического исследования и создания программ параллельных вычислений научно-технических задач.

## Постановка проблемы

Высокая эффективность и производительность компьютеров в настоящее время удовлетворяется многопроцессорными и многоядерными компьютерами [1]. Традиционные методы решения задач и программное обеспечение на традиционных компьютерах при решении их на многопроцессорных и многоядерных компьютерах оказываются не эффективными.

Поэтому встала задача овладения технологией параллельных вычислений, которая подразумевает как создание методов и алгоритмов параллельных вычислений, так и создание программных средств, как организующих параллельных вычислений, так и реализующих алгоритмов параллельных вычислений. Суть проблемы в том, чтобы создавать такие алгоритмы и программы параллельных вычислений, которые максимальным образом загружают процессоры и ядра процессоров и при этом минимизируют обмены между процессорами и ядрами процессоров.

Из-за новых возможностей современных компьютеров (по производительности и объемам запоминающих устройств) возникает проблема постановки на компьютерах новых не исследованных ранее научно-технических задач.

Разработка методов и алгоритмов, их исследование и программирование требует для задач средней сложности 2-3 года, а для сложных задач – до пяти лет.

Кроме того, научно-технические задачи имеют приближенный характер исходных данных, что к сожалению не учитывается при постановке этих задач на традиционных компьютерах. В результате в некоторых случаях пользователи получают компьютерные решения, не имеющие физического смысла, что обнаруживается в ходе сопоставления данных численных и натурных экспериментов. Все это затягивает время и увеличивает стоимость создаваемых объемов новой техники.

Но теоретическое исследование математической и дискретной задач является необходимым, но не достаточным условием, обеспечивающим достоверность получаемых компьютерных решений. Свойства дискретных и машинных моделей задач могут различаться, а средств исследования машинных моделей задач в традиционных компьютерах и программном обеспечении не существует.

Отметим, что свыше 90% всех научно-технических задач имеют своим промежуточным или конечным этапом решение задач вычислительной математики с приближенно заданными исходными данными. Теоретически обоснованное сведение прикладных задач к задачам вычислительной математики, например, методом конечных элементов не вносит дополнительных погрешностей в решение этих задач. Трудности могут возникнуть при компьютерном решении задач вычислительной математики с приближенно заданными данными.

# Цель работы

– исследование свойств компьютерных моделей задач вычислительной математики и создание на их основе алгоритмов и программ решения задач с параллельной организацией вычислений;

– выбор количества процессоров и топологии кластерного компьютера (линейка, решетка, кольцо, ветвящееся дерево и др.), обеспечивающих решение задач за возможно минимальное время;

– исследование и решение задач с приближенно заданными исходными данными с гарантией достоверности получаемых компьютерами решений.

Эти проблемы в значительной мере решают созданные сотрудниками Института кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины и ГНПП «Электронмаш» Минпромполитики Украины интеллектуальные рабочие станции, технические характеристики которых приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1 – Характеристики интеллектуальных компьютеров

| Название | ИНПАРКОМ 32 | ИНПАРКОМ 64 | ИНПАРКОМ 128 | ИНПАРКОМ 256 | ИНПАРКОМ 512 |
|---|---|---|---|---|---|
| Процессоры | Xeon Quad-Core | Xeon Quad-Core | Xeon Quad-Core | Xeon Quad-Core | Xeon Quad-Core |
| Количество узлов / процессоров/ ядер | 4 / 8 / 32 | 8 / 16 / 64 | 16 / 32 / 128 | 16 / 64 / 256 | 64/256/512 |
| Пиковая производительность, TFlops | 0,2 – 0,3 | 0,4 – 0,77 | 0,8 – 1,5 | 1,6 – 3,0 | 3,2 – 6,0 |
| Производительность на LINPACK, TFlops | 0,15 – 0,29 | 0,3 – 0,58 | 0,6 – 1,13 | 1,2 – 2,2 | 2,4 – 4,4 |
| Оперативная память, Gb | 64 | 128 | 256 | 512 | 1024 |
| Дисковая память, TB | 1,0 | 2,0 | 4,0 | 8,0 | 16,0 |
| Емкость дискового хранилища, TB | – | от 1 Tb | от 2 Tb | от 4 Tb | от 8 Tb |

Таблица 2 – Характеристики программно-технического комплекса ИНПАРКОМ 256

| Технические средства | | | |
|---|---|---|---|
| Название | Вычислительный узел | Графическая станция | Дисковое хранилище |
| | Вычисление | Управление, ввод/вывод графической информации | Управление, хранение массивов данных |
| Процессор | 2x2xIntel Xeon 53XX | 2xIntel Xeon 51XX (53XX) | Intel Xeon 51XX |
| Количество ядер | 2x8 | 4(8) | 2 |
| Объем оперативной памяти | 2x16 GB DDR2-667 | 16(32) Gb DDR2-667 | 2 Гб DDR2-667 |
| Дисковая память | HDD 2x2x250 Gb (2xRAID1) | HDD 2x250 Gb (RAID1), FDD, DVD±RW | HDD 10x250 Gb (2xRAID1, 8xRAID 0,5,10,50), FDD, DVD-ROM |
| Количество узлов | Шестнадцать вычислительных узлов; две графические станции (количество определяется заказчиком); два дисковых хранилища. | | |
| Вычислительная сеть | InfiniBand (20 Gbit/s) | | |
| Служебная сеть | Gigabit Ethernet, Fast Ethernet (IPMI with KVM) | | |
| Система бесперебойного питания | – ІБП 10000VA на блок вычислительный – 2 шт;<br>– ІБП 1000VA на каждую рабочую станцию, On-line. | | |
| Конструкция | Вычислительный блок – шкаф 19” / 25U – 2шт, графическая станция – системный блок, монитор, клавиатура, мышь, ИБП, принтер, сканер. | | |
| Системное программное обеспечение | | | |
| Операционная система | Linux на базе Red Hat EL 5, Linux или Windows на графической станции | | |
| Параллельная среда | MPI (OpenFabrics Enterprise Distribution) | | |
| Система управления | Программный системный монитор (управление заданиями, мониторинг заданий и аппаратуры комплекса) | | |
| Интеллектуальное программное обеспечение | | | |
| Библиотеки | Библиотеки интеллектуальных программ решения задач вычислительной математики с оценками достоверности (Inparlib):<br>– системы линейных алгебраических уравнений;<br>– алгебраическая проблема собственных значений;<br>– системы нелинейных уравнений;<br>– системы обыкновенных дифференциальных уравнений. | | |
| Интерфейс | Диалоговая, планирующая и управляющая системы решения задач вычислительной математики (Inpartool) | | |
| Прикладное ПО | Интеллектуальное прикладное программное обеспечение для исследования и решения задач анализа прочности конструкций (на базе фирмы LIRA-Soft Лира 9.4) | | |

Интеллектуальный компьютер – это знаниеориентированный компьютер, который в ходе решения инженерных и научных задач автоматически вырабатывает знания о свойствах компьютерной модели задачи и в соответствии с этими свойствами строит алгоритм решения, формирует топологию из процессоров MIMD-компьютера и создает код программы параллельных вычислений, по завершению процесса вычислений оценивает достоверность полученных результатов [2-7].

Созданию интеллектуальных компьютеров ИНПАРКОМ предшествовала разработка компьютерных методов исследования машинных моделей задач вычислительной математики с приближенно заданными исходными данными. Использовать классический математический аппарат для исследования машинных моделей невозможно. Так, по теории Кронекера-Копелли система линейных алгебраических уравнений совместна тогда и только тогда, когда ранг матрицы равен рангу расширенной матрицы. Определить совместность систем по этой теореме на компьютере невозможно, так как ранги матриц не могут быть точно вычислены.

Но выяснить совместность системы или несовместность необходимо, т.к. методы вычисления классического решения (в случае совместности систем) отличны от методов вычисления обобщенного решения (в случае несовместности систем).

Кроме компьютерных аналогов классических теорем была разработана технология параллельных вычислений, в рамках которой не только строится алгоритм параллельных вычислений, но и определяется целесообразное количество процессоров для решения задачи необходимой размерности, которое минимизирует время решения, а также топологию в зависимости от алгоритмов решения, которые автоматически определяются свойствами решаемых задач.

В состав ИНПАРКОМ входит: хост-система, обрабатывающая часть, коммуникационная среда.

Хост-система осуществляет управление многопроцессорным вычислительным ресурсом, общесистемный мониторинг, общение с терминальными сетями пользователей, визуализацию результатов решения задачи и реализацию той части процесса вычислений и обработки данных, которая не распараллеливается («плохо» распараллеливается). Хост-система с внешним оборудованием может входить в локальную или глобальную сеть. Хост-система может состоять из хост-компьютеров (Xeon Quad-Core GHz, 64 bit длина машинного слова, 8 Gbyte оперативной памяти, 72 Gbyte памяти на дисках каждый).

Обрабатывающая часть, поддерживающая решение задачи с организацией параллельных вычислений, – это однородная масштабируемая структура, состоящая из множества процессоров (с собственной оперативной и дисковой памятью), объединенных коммуникационной средой межпроцессорного взаимодействия. Обрабатывающая часть может включать вычислительные узлы (Xeon Quad-Core GHz, 64 bit длина машинного слова, 2 Gbyte оперативной памяти, 36 Gbyte памяти на дисках каждый).

Коммуникационная среда состоит из Gigabit Ethernet; Infiniband и гиперкуба. Программное обеспечение предусматривает три уровня:

– операционная среда, поддерживающая интеллектуальное программное обеспечение;

– интеллектуальное численное программное обеспечение для исследования и решения задач вычислительной математики с приближенно заданными данными;

– прикладное программное обеспечение, например, для исследования и решения задач анализа прочности конструкций.

В основу операционной среды положены бесплатные решения GNU/Linux. Однако пользователь может выбрать один из трех вариантов инсталлированных ОС: Linux,

Windows XP SP2 или Linux+Windows. По желанию пользователя хост автоматически переключается на Linux и Windows с перезагрузкой узлов. Версия Linux на основе Scientific Linux 4.2 (от 22.11.2005) оптимизирована под аппаратуру ИНПАРКОМА.

В ядре параллельного компьютера – системе передачи сообщений – реализован стандарт де-факто MPI. В Linux установлен MVAPICH, оптимизированный под Infiniband, и LAM MPI, в Windows – MPICH. Для поддержки максимального числа приложений сторонних пользователей настроена распространенная система передачи сообщений PVM.

Бесплатный компилятор GCC в составе Linux поддерживает Си/С++, Фортран и Java. Операционная среда включает Интернет-сервер Apach с поддержкой приложений на языке PHP, СУБД MySQL, стандартные математические библиотеки (в том числе ScaLAPACK), тесты (Linpack, Scali), сетевую файловую систему.

Операционная среда обеспечивает:

– формирование задания и его запуск на выбранных вычислительных узлах;

– мониторинг всего компьютера и выполняемых заданий;

– сохранение и визуализацию протоколов параллельных расчетов;

– запуск приложения (параллельной программы) на хост-компьютере;

– работу через локальную сеть и/или Интернет с удаленным доступом;

– разработку параллельных программ;

– администрирование доступных пользователю частей сетевой файловой системы.

Интеллектуальное численное программное обеспечение для исследования и решения задач вычислительной математики с приближенно заданными исходными данными поддерживает (1) автоматический режим полного исследования и решения задач и (2) решение задач выбранной программой из библиотеки. Реализованы классы задач:

– систем линейных алгебраических уравнений;

– алгебраической проблемы собственных значений;

– систем нелинейных алгебраических и трансцендентных уравнений;

– систем обыкновенных дифуравнений с начальными условиями.

Прикладное программное обеспечение, например, для исследования и решения задач анализа прочности конструкций может содержать средства:

– формирования геометрической модели конструкции на основе имеющихся в банке геометрических моделей;

– формирования в компьютере математической модели задачи на основе моделей, имеющихся в банке данных;

– формирования конечно-элементной или конечно-разностной модели задачи;

– визуализации конечно-элементного покрытия элемента или исследуемой конструкции и средства, помогающие пользователю изменить в некоторых местах конечно-элементную сетку;

– формирования в автоматическом режиме дискретной модели задачи и рассылки данных по процессорам выбранной топологии;

– обращения к интеллектуальному численному программному обеспечению для исследования и решения сформулированных конечно-элементных задач на MIMD-компьютере с визуализацией полученных результатов;

– анализа достоверности полученного конечно-элементного или конечно-разностного решения.

Таким образом, вместо традиционной схемы исследования и решения задачи (рис. 1) возникает новая схема (рис. 2), в которой компьютер вместо пользователя выполняет все необходимые исследования и создает топологию и программу параллельных вычислений.

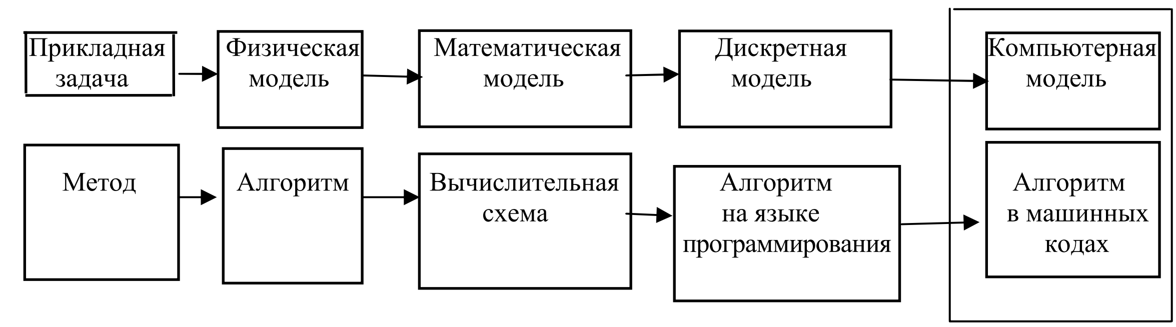



Рисунок 1

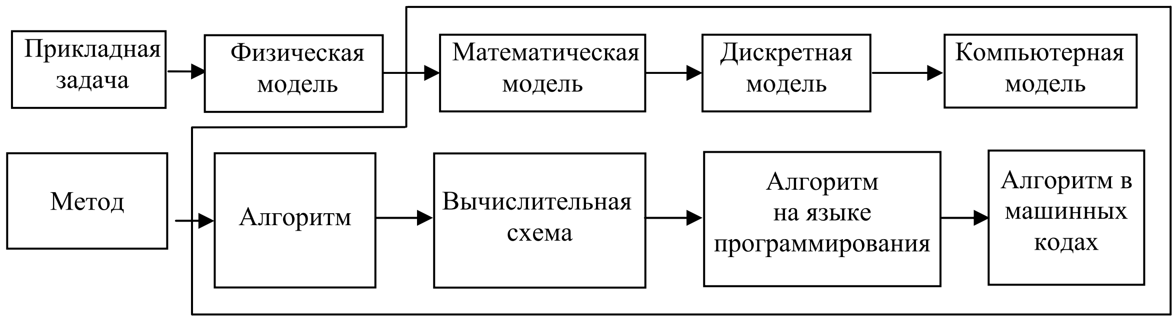



Рисунок 2

Режимы использования ИНПАРКОМ:

– численное моделирование сложных процессов, явлений, объектов и систем для организации на этой основе численных экспериментов;

– создание тренажеров управления сложными объектами современной техники, в том числе АЭС;

– решение сложных научно-технических задач с приближенно заданными исходными данными;

– подготовка параллельных программ для суперкомпьютеров.

Способы использования:

– адаптация созданных ранее программных средств на кластерах ИНПАРКОМ: реализация препроцессинга существующих программных средств для перевода задачи на языке пользователя в математическую задачу на хост-системе; процессинг как решение математической задачи в автоматическом режиме с параллельной организацией вычислений на вычислительном блоке ИНПАРКОМА, постпроцессинг – перевод решения математической задачи на язык пользователя на хост-системе;

– создание программных комплексов с учетом возможности интеллектуальных рабочих станций ИНПАРКОМ.

Преимущества интеллектуальной рабочей станции ИНПАРКОМ:

– постановка задачи пользователя на языке предметной области;

– освобождение пользователя от исследования свойств задачи и создания алгоритма решения, написания и отладки параллельной программы, что сокращает время постановки и решения задачи не менее, чем в 100 раз;

– исследование и решение задач инженерии и науки с приближенно заданными исходными данными;

– получение машинного решения с оценкой достоверности, а также всех свойств решаемой машинной модели задачи с приближенно заданными исходными данными;

– существенное сокращение времени машинного исследования и решения научно-технических задач по сравнению с традиционной технологией решения той же задачи на MIMD-компьютере с тем же количеством процессоров и на той же элементной базе, но с традиционной параллельной архитектурой.

В заключении отметим, что созданные интеллектуальные компьютеры ИНПАРКОМ не только обладают новыми качествами (исследование свойств решаемых задач с приближенными заданными исходными данными и на этой основе создание программ параллельных вычислений), но и за счет использования современной элементной базы и технологий широкого назначения имеет относительную дешевую цену и наилучшее соотношение время решения к его стоимости.

# Литература

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.top 500.org
2. Молчанов И.Н. Интеллектуальные компьютеры – средство исследования и решения научно-технических задач / И.Н. Молчанов // Кибернетика и системный анализ. – 2004. – № 1. – С. 175-179.
3. Молчанов И.Н. Интеллектуальные компьютеры для исследования и решения научно-технических задач – новое направление в развитии вычислительной техники / И.Н. Молчанов, В.И. Мова, В.А. Стрюченко // Зв’язок. – 2005. – № 7. – С. 45-46.
4. Молчанов И.Н. Интеллектуализация компьютеров – проблемы и возможности / И.Н. Молчанов, В.И. Мова, В.А. Стрюченко // Искусственный интеллект. – 2006. – № 3. – С. 15-20.
5. Молчанов И.Н. Inparcom – 16 – интеллектуальная рабочая станция / И.Н. Молчанов, О.Л. Перевозчикова, А.Н. Химич // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – № 3. – С. 151-155.
6. Молчанов И.Н. Опыт разработки семейства кластерных компьютеров Инпарком / И.Н. Молчанов, О.Л. Перевозчикова, А.Н. Химич // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – № 6. – С. 88-96.
7. Молчанов И.Н. Машинная математика – проблемы и перспективы / И.Н. Молчанов // Кибернетика и системный анализ. – 2004. – № 6. – С. 65-72.

***І.М. Молчанов, В.І. Мова, В.А. Стрюченко***

**Інтелектуальна робоча станція ІНПАРКОМ – засіб автоматичного дослідження і створення програм паралельних обчислень науково-технічних завдань**

Викладені результати створення сім’ї інтелектуальних паралельних комп’ютерів ІНПАРКОМ, які є засобом автоматичного дослідження і створення програм паралельних обчислень науково-технічних завдань.

***I.N. Molchanov, V.I. Mova, V.A. Striuchenko***

**The Intelligent Workstation INPARCOM is Mean Automatic Research and Creation of Programs of Parallel Calculations of Scientific and Technical Tasks**

The results of creation of family of intellectual parallel computers INPARCOM, which are the mean of automatic research and creation of the programs of parallel calculations of scientific and technical tasks, are expounded.

*Статья поступила в редакцию 10.06.2010.*